

水解/跌水曝气/快渗工艺处理山地城镇生活污水

马晓霞, 黄磊, 郭劲松, 高旭, 刘明
(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 为了探讨适用于三峡库区山地小城镇污水处理的工艺, 结合山地小城镇具有较大自然地形高差和较多荒地荒沟的特点, 采用“厌氧水解/自然跌水曝气/改良人工土快渗系统”组合工艺建设生活污水处理示范工程。分析了该示范工程对主要污染物的去除效果, 考察了温度和进水负荷对去除污染物的影响, 并进行了经济分析。结果表明, 该组合工艺具有较强的抗冲击负荷能力和较好的污染物去除效果; 系统对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果与温度显著相关, 而对 TP 的去除效果受温度的影响较小; 各污染物的单位面积去除负荷与进水负荷近似服从对数关系; 该组合工艺的基建费用较之常用污水处理工艺减少 20% ~ 50%, 运行成本仅为 0.29 元/ m^3 。

关键词: 山地城镇生活污水; 厌氧水解; 跌水曝气; 改良人工土快渗系统; 温度; 负荷

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1000-4602(2012)05-0009-04

Anaerobic Hydrolysis/Waterfall Aeration/Rapid Infiltration Process for Treatment of Domestic Sewage in Mountain Towns

MA Xiao-xia, HUANG Lei, GUO Jin-song, GAO Xu, LIU Ming

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: In order to seek for the sewage treatment processes fitting for small mountain towns in the Three Gorges Reservoir Region, a demonstration project of domestic sewage treatment using the combined process of anaerobic hydrolysis, natural waterfall aeration and improved artificial soil rapid infiltration was built based on the features of large terrain elevation and many barren ravines. The removal efficiencies of major pollutants in the combined process were analyzed. The impact of temperature and influent loadings on removal of pollutants was discussed, and the economic benefit was also investigated in the demonstration project. The combined process had a strong resistance to the influent loadings with high removal efficiencies of pollutants. There was a significant correlation between temperature and the removal efficiencies of COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in the system, while the removal efficiency of TP was not associated with temperature. There was an approximate logarithmic relationship between the pollutant removal loadings per unit area and the influent loadings. The construction cost of the combined process was reduced by 20% to 50% compared with conventional sewage treatment processes. The operation cost was 0.29 yuan/ m^3 .

Key words: domestic sewage in mountain towns; anaerobic hydrolysis; waterfall aeration;

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07104-002)

improved artificial soil rapid infiltration system; temperature; load

三峡库区小城镇受地形限制,被分割成多个组团式排水区域,污水大都分散排放,这使得库区城镇生活污水很难采用集中处理的模式^[1]。

随着污水处理技术向着资源化方向的发展,土地处理工艺越来越受到重视。土地处理系统具有净化效果好、设备简单、操作管理方便、基建投资和运行费用少、处理能耗低等优点^[2]。近年来,人工快渗系统在美国、法国、芬兰、丹麦、瑞士等国家得到了广泛应用^[3,4],在国内也相继建成了一些主要针对生活污水处理和污染河流治理的实际工程^[5],展现了良好的应用前景。对于自然跌水曝气来说,可以将山地丘陵的劣势化为优势,利用高差势能跌水充氧,从而减少土石方的开挖和曝气能耗^[6]。

为探讨适用于三峡库区经济落后、管理水平低、地形高差明显、土质特殊的山地小城镇污水处理工艺,在重庆万州高峰镇建设了采用“厌氧水解/自然跌水曝气/改良人工土快渗系统”组合工艺的示范工程,考察了对主要污染物的去除效果,以及温度、进水负荷对净化效果的影响,以期为类似的山地小型城镇污水处理厂的建设和运行提供借鉴和参考。

1 污水处理厂概况

1.1 试验水质与方法

测试时间为2009年9月—2010年5月(9月和10月为调试期),根据进、出水污染物浓度和流量计算对污染物的去除率、进水负荷和去除负荷。现场测定温度和DO,将水样运回实验室后立即采用标准方法测定COD、TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等指标。试验期间的进水水质见表1。

表1 试验进水水质

Tab.1 Water quality of experimental influent

项 目	范围	均值
DO/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.82 ~ 4.21	2.88
$T/^\circ\text{C}$	12.0 ~ 35.9	22.8
COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	22.97 ~ 167.73	103.04
TN/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	14.73 ~ 47.85	29.88
TP/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.26 ~ 3.68	2.48
$\text{NH}_4^+ - \text{N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	9.93 ~ 47.32	25.38

1.2 工艺流程

高峰污水处理厂近期的处理规模为 $1\,200\text{ m}^3/\text{d}$ (2010年以前),远期的为 $1\,800\text{ m}^3/\text{d}$ (2010年—

2015年)。规划服务范围约为 1.5 km^2 ,服务人口约1.4万人,总投资为686.30万元。生活污水通过沟渠收集,经格栅去除大的漂浮物和悬浮物后,依次流经厌氧水解池、自然跌水曝气池、改良人工土快速渗滤系统、紫外线消毒渠,经计量后排放。该工艺充分利用了自然地形高差将污水跌落,实现无能耗自动曝气;改良人工土快速渗滤系统采用渗透性良好的天然河砂,并掺入一定量由课题组开发的新型填料,采用干湿比为1:3的交替方式运行^[7~9]。

2 结果与讨论

2.1 对污染物的去除效果

在调试期间,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 $4.81 \sim 13.50\text{ mg/L}$,出水TP为 $0.87 \sim 1.91\text{ mg/L}$,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和TP的去除效果不理想。进入稳定运行期后,系统出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在 $6.27 \sim 7.95\text{ mg/L}$ 之间,平均为 7.16 mg/L ,平均去除率约为72%;出水TN在 $11.21 \sim 19.85\text{ mg/L}$ 之间,平均为 17.66 mg/L ,平均去除率约为44%;出水TP为 $0.41 \sim 0.95\text{ mg/L}$,平均为 0.84 mg/L ,平均去除率为70%;出水COD在 $39.65 \sim 59.32\text{ mg/L}$ 之间,平均为 50.61 mg/L ,平均去除率为62%。由此可见,经过调试期后,尽管进水质变化较大,但系统运行较稳定,出水水质能够达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。

2.2 温度对净化效果的影响

图1为2009年9月—2010年3月的气温变化及系统对主要污染物的去除效果。

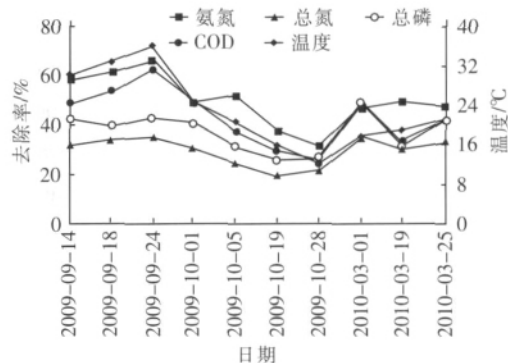


图1 温度对除污效果的影响

Fig.1 Impact of temperature on pollutants removal rate

图1表明,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN和COD的去除率与温度密切相关,而对TP的去除率受温度变化的影

响较小。系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 COD 的最高去除率出现在 9 月 24 日,分别为 66%、35%、62%,最低去除率出现在 10 月 28 日,分别为 31%、21%、26%。为了进一步了解温度对去除污染物的影响,用软件 SPSS 13.0 分析了温度与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP、COD 去除率的相关性。结果表明,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD 的去除率与温度的相关性极强,相关系数分别为 0.946 和 0.968,表明温度对去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD 的影响较大;对 TN 的去除率与温度的相关性较强,相关系数为 0.636,表明温度对 TN 的去除有一定影响;对 TP 的去除率与温度的相关性较弱,其相关系数为 0.547,表明温度对去除 TP 的影响不显著。这是由于系统中的脱氮作用包括氨挥发、植物吸收、基质吸附和微生物作用,其中微生物作用占主导^[10]。一方面,温度变化影响植物对无机氮的吸收;另一方面,温度对硝化细菌和反硝化细菌的代谢活性有影响。因此温度对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 COD 的去除率有影响。在土地处理系统中磷的去除主要依靠化学沉淀和土

壤吸附,以非生物机制为主、生物机制为辅^[11],因此,对磷的去除基本不受温度的影响。

2.3 进水负荷与去除负荷的关系

分析显示对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP、COD 的去除负荷与其进水负荷呈对数关系,如式(1)~(4)所示, R^2 分别为 0.763、0.769、0.628、0.799。

$$y = 6.149 \ln x - 7.633 \quad (1)$$

$$y = 5.154 \ln x - 7.958 \quad (2)$$

$$y = 0.722 \ln x + 0.573 \quad (3)$$

$$y = 18.66 \ln x - 44.16 \quad (4)$$

2.4 技术经济分析

结合小城镇污水的水量和水质特点、小城镇的经济条件和环境要求等因素综合考虑,目前用于小城镇污水处理的工艺主要有四种,分别为 SBR 工艺、氧化沟工艺、 A^2/O 工艺、生物接触氧化法^[12]。

污水处理厂的建设费用主要取决于规模和处理工艺,不同工艺、不同规模的小城镇污水处理厂的投资估算结果及运行费用见表 2。

表 2 污水处理厂投资估算及运行费用

Tab. 2 Investment estimation and operation cost of WWTP

项 目		氧化沟工艺		A^2/O 工艺		SBR 工艺		生物接触氧化法	
		投资/万元	运行费用/ (元· m^{-3})	投资/万元	运行费用/ (元· m^{-3})	投资/万元	运行费用/ (元· m^{-3})	投资/万元	运行费用/ (元· m^{-3})
规模/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	2 500	1 129.84	1.49	1 025.48	1.42	1 011.64	1.41	888.87	1.33
	5 000	1 490.90	0.99	1 295.20	0.91	1 242.96	0.89	1 438.31	1.05
	10 000	2 117.90	0.75	1 847.92	0.70	1 684.36	0.65	1 799.53	0.75
	20 000	2 996.59	0.60	2 615.35	0.54	2 483.88	0.51	3 030.37	0.66

这些工艺的运行稳定性和处理效果都能满足要求,但设备较多,大都要采用机械曝气或者鼓风机曝气系统,所以污水处理厂的基建投资和运行费用较高。对于规模为 $2\,500\text{ m}^3/\text{d}$ 的污水处理厂,基建费用在 800~1 200 万元,运行费用为 1.30~1.50 元/ m^3 ,规模越小则基建费用越大,运行费用也更高。厌氧水解/自然跌水曝气/改良人工土快渗组合工艺的基建费用为 2 522 元/ m^3 ,较之常用工艺减少 20%~50%,运行成本为 0.29 元/ m^3 ,优势非常明显。

3 结论

① 高峰污水处理厂的运行结果表明,随着气温的升高,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 COD 的去除率增加,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD 的去除率与温度的相关性极强,对 TN 的去除率与温度的相关性较强,温度对去除 TP 的影响不明显。

② 去除负荷与进水负荷呈对数关系,因而适当提高进水污染物负荷,既可保证一定的去除率,又能提高系统对氮、磷的去除能力。

③ 厌氧水解/自然跌水曝气/改良人工土快渗组合工艺的基建投资为 2 522 元/ m^3 ,较之常用工艺减少 20%~50%,运行成本为 0.29 元/ m^3 ,优势非常明显。

④ 组合工艺的出水水质基本能够达到一级 B 排放标准,适用于三峡库区山地小城镇生活污水的处理。

参考文献:

- [1] 熊勤,江开伟. 重庆市三峡库区适用污水处理工艺与技术探讨[J]. 重庆工业高等专科学校学报,2002,17(17):185-188.

(下转第 15 页)

- 学学报,2010,30(10) : 1957 - 1963.
- [4] Kishida N, Kim Juhyun, Tsuneda S, *et al.* Anaerobic/oxic/anoxic granular sludge process as an effective nutrient removal process utilizing denitrifying polyphosphate-accumulating organisms [J]. *Water Res*, 2006, 40(2) : 2303 - 2310.
- [5] 张杰, 李小明, 杨麒, 等. 采用 AOA 模式在 SBR 中实现同步脱氮除磷 [J]. *中国给水排水*, 2007, 23(17) : 19 - 22.
- [6] Tsuneda S, Ohno T, Soejima K, *et al.* Simultaneous nitrogen and phosphorus removal using denitrifying phosphate-accumulating organisms in a sequencing batch reactor [J]. *Biochem Eng J*, 2006, 27(3) : 191 - 196.
- [7] Meyer R L, Zeng R J, Giugliano V, *et al.* Challenges for simultaneous nitrification, denitrification, and phosphorus removal in microbial aggregates: mass transfer limitation and nitrous oxide production [J]. *FEMS Microbiol Ecol*, 2005, 52(3) : 329 - 338.
- [8] 梁锐振, 赵二杰, 周宾. 同步脱氮除磷新工艺处理校园生活污水 [J]. *环境科学学报*, 2008, 28(6) : 1093 - 1100.
- [9] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] Peng Y Z, Wang X L, Li B K. Anoxic biological phosphorus uptake and the effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in the A²O process [J]. *Desalination*, 2006, 189(1/3) : 155 - 164.
- [11] 刘小英, 赵红梅, 彭党聪, 等. SBR 中生物除磷颗粒污泥的反硝化聚磷研究 [J]. *环境科学*, 2008, 29(8) : 2254 - 2259.
- 作者简介: 高辉(1986 -), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制理论与技术。
E - mail: gaohui19860826@ 163. com
通讯作者: 高大文
收稿日期: 2011 - 10 - 21

(上接第 11 页)

- [2] 王春燕, 郭劲松. 三峡地区人工土层快渗系统处理生活污水的实验 [J]. *重庆大学学报*, 2006, 29(11) : 132 - 136.
- [3] Pell M, Nyberg F. Infiltration of wastewater in a newly started pilot sand filter system: III. Transformation of nitrogen [J]. *J Environ Qual*, 1999, 28(5) : 463 - 467.
- [4] 张姝, 尚佰晓, 周莹. 莲花湖人工湿地对污水的净化效果研究 [J]. *中国给水排水*, 2011, 27(9) : 25 - 28.
- [5] 张金炳, 张永华, 杨小毛, 等. 用人工快速渗滤系统处理受污染河水的试验研究 [J]. *华北水利水电学院学报*, 2004, 25(3) : 65 - 67.
- [6] 邓荣森, 王左良, 王涛. 跌水曝气系统在污水处理工艺上的运用前景探讨 [J]. *重庆建筑大学学报*, 2007, 29(1) : 78 - 80.
- [7] 郭劲松, 王春燕, 方芳, 等. 湿干比对人工快渗系统除污性能的影响 [J]. *中国给水排水*, 2006, 22(17) : 9 - 12, 17.
- [8] 郭劲松, 王春燕, 方芳, 等. 人工快渗系统在三峡库区处理生活污水的适应性研究 [J]. *环境科学*, 2006, 27(11) : 2327 - 2332.
- [9] 王春燕, 郭劲松. 紫色土构建快渗系统对污水氮去除性能的影响 [J]. *重庆大学学报*, 2008, 31(6) : 688 - 693.
- [10] 王禄, 喻志平, 赵智杰. 人工快速渗滤系统氨氮去除机理 [J]. *中国环境科学*, 2006, 26(4) : 500 - 504.
- [11] 崔程颖, 马利民, 张选军, 等. 人工快速渗滤系统对污染物的去除机制 [J]. *环境污染与防治*, 2007, 29(2) : 95 - 98.
- [12] 龚玲, 钟成华, 邓春光, 等. 三峡库区重庆段污水处理厂运行现状研究 [J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(18) : 4714 - 4715.
- 作者简介: 马晓霞(1986 -), 女, 河北衡水人, 硕士研究生, 主要从事水污染控制理论与技术研究。
E - mail: 120056207@ qq. com
通讯作者: 郭劲松
收稿日期: 2011 - 10 - 08